

**TÍTULO:** Pérdidas de presión en tuberías de vapor.

**TITLE:** Pressure waste in steam's pipes

**AUTORES:**

Ing. Luis Enrique Vega Peña\*

Ing. Luis Enrique Rodríguez González. Profesor Auxiliar \*\*

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN:**

Se presenta una metodología de cálculo para la evaluación del comportamiento de las pérdidas de presión por fricción, caídas de presión en tuberías que transportan vapor como medio de calentamiento o generación de energía eléctrica. El método de cálculo descrito es el resultado de un cuidadoso estudio bibliográfico realizado a literaturas técnicas especializadas en el tema de transporte y utilización del vapor; logrando con esto una herramienta de cálculo ingenieril para especialistas en proyectos, proyectistas e ingenieros interesados en el tema.

**PALABRAS CLAVES:** CAÍDAS DE PRESIÓN, PÉRDIDAS POR FRICCIÓN, TUBERÍAS DE VAPOR.

**ABSTRACT:**

This work presents a calculation methodology to evaluate functionally pressure waste due to friction, low pressure in pipes that transports steam as a heating means or electrical energy generation. The described calculation's method is the result of a careful bibliography study to the technical specialize sources in the use and transportation of steam, therefore achieving an useful instrument for engineers and projectionist interesting in this theme.

**KEY WORDS:** LOW PRESSURE, WASTE DUE TO FRICTION, STEAM'S PIPES.

## **INTRODUCCIÓN**

En el impetuoso desarrollo que ha emprendido la humanidad desde los albores de la revolución industrial hasta nuestros días, el rol que ha jugado y jugará el vapor de agua y su generación resulta difícil de valorar en toda su magnitud. La importancia que para la economía de cualquier país, independientemente de su grado de desarrollo, tiene la generación de vapor es obvia.

Los sistemas de vapor se desarrollaron hacia el año 1850. El vapor de agua, agua en estado gaseoso, se emplea para generar energía y en muchos procesos industriales. Esto hace que las técnicas de generación y uso del vapor de agua se consideren componentes importantes de la ingeniería tecnológica. En los sistemas modernos de generación de energía eléctrica y

sistemas de calefacción, suele emplearse vapor como fluido principal a obtener y a tratar.

Tubería, en tecnología, es el tubo empleado para transportar de un punto a otro líquido, sólidos fragmentados, mezclas de líquidos y sólidos así como gases.

Las tuberías de vapor de agua son habituales en Centrales Termoeléctricas; ampliamente utilizadas como medio de transporte de vapor sobrecalentado, para generación, y vapor saturado de calefacción; plantas Industriales en el proceso de cocción y calentamiento de subsistemas; así como para el suministro social como medio de calefacción. Para el suministro de vapor se emplean, generalmente, grandes redes de tuberías, por lo que su correcta selección y control de presiones establecidas juegan un papel importante en los costos de generación y transporte de éste fluido.

La tubería de vapor difiere de otros sistemas porque generalmente transporta tres fluidos: vapor, agua y aire. Por esta razón el diseño, los cálculos ingenieriles y la proyección de las tuberías de vapor requieren una consideración especial.

La metodología de cálculo presentada tiene como objetivo brindar una herramienta de cálculo, limitada a los aspectos teóricos más importantes, accesible y de fácil comprensión a los especialistas; herramientas que muchas veces aparecen disgregadas en varias literaturas no siempre asequibles a los interesados en el tema.

## **MATERIALES Y METODOS.**

### **Análisis histórico- lógico según Álvarez, (2001).**

Lo histórico estudia la trayectoria real de los fenómenos y acontecimientos en el decursar de su evolución. La lógica investiga las leyes generales del funcionamiento y desarrollo de los fenómenos. (1) Este método facilitó el estudio de la trayectoria del tema, teniendo en cuenta las investigaciones preliminares, cuyos resultados aparecen reflejados en la bibliografía.

### **Análisis y síntesis según Álvarez, (2001).**

Este método fue el punto de partida para el estudio de literaturas técnicas especializadas en el tema tratado, así como para la selección cuidadosa de los elementos esenciales a tener en cuenta para el desarrollo de la metodología de cálculo presentada.

(1) Álvarez Valdivia, Ibis M. Investigación cualitativa. Diseños humanísticos. Material de estudio. Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas. Departamento de Psicología. Universidad Central de Las Villas, 2001. (Portador digital)

## RESULTADOS DEL TRABAJO

### Cálculo de caída de presión en tuberías de vapor.

#### 1. Determinación del diámetro de tubería de vapor:

- **Velocidad del vapor en tubería:**

Siendo:

$$V = 50 \cdot \sqrt{D_1}$$

$V$  : velocidad del vapor; [m/s]

$D_1$  : Diámetro interior del tubo; [m]

#### Velocidades del vapor recomendadas:

**Tabla # 1**

Tipo de vapor	Práctica Americana m/s	Práctica Francesa m/s
Vapor sobrecalentado	40 a 75	30 a 35
Vapor saturado	25 a 35	20 a 25
Vapor de escape	30 a 45	20 a 30
Vapor de los evaporadores	35 a 50	25 a 30
Vapor al vacío	45 a 60	40 a 50

**Tabla # 2**

Presión de vapor en kg/cm <sup>2</sup>	Velocidad m/s
De 1 a 1,5	25 a 30
De 1,5 a 5	30 a 35
De 5 a 10	35 a 40
De 10 a 25	40 a 50
De 25 a 100	50 a 60

Nota: En tramos cortos o con vapor recalentado pueden tomarse velocidades hasta un 20% mayores que las establecidas en la Tabla #2.

Si se adopta este criterio, la corriente de vapor en peso está dada por:

$$F_i = \frac{3,14 \cdot D_1^2}{4} \cdot 50 \cdot \sqrt{D_1} \cdot W \cdot 3600$$

Siendo:  $F_i$  : Flujo másico del vapor en circulación; [kg/h]

$W$  : Peso específico del vapor; [kg/m<sup>3</sup>]

$$D = \left( \frac{F_i}{141370 \cdot W} \right)^{0,4}$$

Por lo que:

## 2. Cálculo de la viscosidad dinámica del vapor:

Siendo:

$$\mu = \left(0,00894 + 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot t\right) \cdot 3,6 \quad \mu: \text{Viscosidad dinámica del vapor; [kg /m h]}$$

$t$  : Temperatura del fluido; [ o C]

## 3. Cálculo del número de Reynolds (Re):

Siendo:

$$Re = \frac{0,3536776 \cdot \dot{F}_i}{D \cdot \mu} \quad \dot{F}_i: \text{Flujo másico del vapor en circulación; [Kg/h]}$$

$D$  : Diámetro interior del tubo; [m]

## 4. Cálculo del coeficiente de fricción (f):

El coeficiente de fricción, factor de Darcy, depende del régimen de flujo, es decir, si es flujo laminar o turbulento.

Un flujo se considera laminar cuando su número de Reynolds  $Re < 2000$  . En este caso el valor de  $f$  se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Un flujo se considera turbulento cuando su número de Reynolds  $Re \geq 2000$  . En este caso el valor de  $f$  se calculará mediante la fórmula de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{\xi}{3,7 \cdot D_1} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Una simplificación de esta fórmula es:

$$f = \left[ -2 \cdot \log \left( \frac{0,27 \cdot \xi}{D_1} + \left( \frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2}$$

Siendo:

$\xi$  : Rugosidad relativa de la tubería; [m]

$$\xi = \frac{K'}{d}$$

Donde:

Siendo:

$D_1$ : Diámetro interior del tubo [m].

$K'$ : Rugosidad absoluta [m].

Donde:

$K' = 0,0002$  mm; para tubos de acero sin costura y tubos soldados con corrosión insignificante.

$K' = 0,00067$  m; para tubos de acero viejo y herrumbrosos.

$K' = 0,0002$  m; en oleoductos en condiciones medias de explotación y en conductos de vapor saturado.

5. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales ( $K_i$ ) en codos, tee y válvulas:

$$K_i = \frac{K_1}{Re} + K\alpha \cdot \left(1 + \frac{0,0254}{D}\right)$$

Donde:

$D$  : Diámetro interior del tubería; [m]

Siendo:

- **Para codos:**

Tabla # 3

Codos	$K_1$	$k_{oc}$
90° roscable	800	0,40
90° soldable	800	0,25
90° radio largo	800	0,20
90° sector 45°	1000	1,15
90° sector 22,5°	800	0,35
90° sector 15°	800	0,30
90° sector 11,25°	800	0,27
90° sector 9°	800	0,25
45° roscable	500	0,20
45° radio largo	500	0,15
45° sector 22,5°	500	0,25
45° sector 11,25°	500	0,15
180° roscable	1000	0,60
180° soldable	1000	0,35
180° radio largo	1000	0,30

- Para tee:

Tabla #4

Tee	K1	$k_{\infty}$
90° roscable	500	0,70
90° radio largo	800	0,40
90° soldable	800	0,80
90° taponado	1000	1,00
180° roscable	200	0,10
180° soldable	150	0,50
180° taponado	100	0,00

- Para válvulas:

Tabla #5

Válvulas	K1	$k_{oc}$
Cuña, bola, plug abierta 100%	300	0,10
Cuña, bola, plug abierta 90%	500	0,15
Cuña, bola, plug abierta 80%	1000	0,25
Globo	1500	4,00
Ángulo, ye, diafragma	1000	2,00
Mariposa	800	0,25
Cheque pistón	2000	10,00
Cheque bisagra	1500	1,5
Cheque disco inclinado	1000	0,5

## 6. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $k_i(eb)$ en expansiones bruscas:

Sí el número de Reynolds  $Re \leq 4000$  , entonces:

$$K_i(eb) = 2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D1}{D2} \right)^4 \right]$$

Donde:

$D1$  : Diámetro menor en la expansión; [m]

$D2$  : Diámetro mayor en la expansión; [m]

Sí el número de Reynolds,  **$Re > 4000$**  , entonces:

$$K_i(eb) = (1 + 0,8 \cdot f) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D1}{D2} \right)^2 \right]^2$$

## 7. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $k_i(es)$ en expansiones suaves:

Sí el ángulo formado en el difusor es  $\mu < 45^\circ$ , entonces:

$$K_i(es) = K_i(eb) \cdot 2,6 \cdot \text{Sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)$$

Si el ángulo formado en el difusor es  $\mu \geq 45^\circ$ , entonces:

$$K_i(es) = K_i(eb)$$

## 8. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $k_i(rb)$ en reducciones buscas:

Si el número de Reynolds  $Re \leq 2500$ , entonces:

$$K_i(rb) = \left( 1,2 + \frac{160}{Re} \right) \cdot \left[ \left( \frac{D1}{D2} \right)^4 - 1 \right]$$

Si el número de Reynolds  $Re > 2500$ , entonces:

$$K_i(rb) = (0,6 + 0,48 \cdot f) \cdot \left( \frac{D1}{D2} \right)^2 \cdot \left[ \left( \frac{D1}{D2} \right)^2 - 1 \right]$$

## 9. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $k_i(rs)$ en reducciones suaves:

Sí el ángulo formado en la reducción está comprendido en el intervalo  $0^\circ < \mu < 45^\circ$ , entonces:

$$K_i(rs) = K_i(rb) \cdot 1,6 \cdot \text{Sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)$$

Sí el ángulo formado en la reducción está comprendido en el intervalo  $45^\circ < \mu < 180^\circ$ , entonces:

$$K_i(rs) = K_i(rb) \cdot \sqrt{\text{Sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

## 10. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $k(ci)$ en codo inglete:

$$K_i(ci) = 1,2 \cdot (1 - \text{Cos } \alpha)$$

### 11. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $K_i(po)$ en platillo orificio:

sí el número de Reynolds  $Re \leq 2500$  , entonces:

$$K_i(po) = \left[ 2,72 + \left( \frac{D2}{D1} \right)^2 \cdot \left( \frac{120}{Re} - 1 \right) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D2}{D1} \right)^2 \right] \cdot \left[ \left( \frac{D1}{D2} \right)^4 - 1 \right]$$

Siendo :

$D1$  : Diámetro interior de la tubería (m).

$D2$  : Diámetro del orificio (m).

Sí el número de Reynolds  $Re > 2500$  , entonces:

$$K_i(po) = \left[ 2,72 - \left( \frac{D2}{D1} \right)^2 \cdot \frac{4000}{Re} \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D2}{D1} \right)^2 \right] \cdot \left[ \left( \frac{D1}{D2} \right)^4 - 1 \right]$$

### 12. Cálculo de los coeficientes de resistencia locales $K_i(u)$ en uniones:

$$K_i(u) = 0,04 \cdot n$$

Siendo:

$n$  : Número de uniones existentes en el tramo calculado

### 13. Cálculo del coeficiente total de pérdida ( $K1$ ):

$$K1 = \frac{0,0826546}{D^4} \cdot \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum K_i \right)$$

Siendo:

$\sum K_i$  : Sumatoria de los coeficientes de resistencia locales.

$D1$  : Diámetro interior del tubo; [m]

### 14. Cálculo de pérdidas totales ( $Hf1$ ):

$$Hf1 = K1 \cdot \left( \frac{V_e \cdot F_i}{3600} \right)^2$$



Pérdidas de presión en tuberías de vapor.

Siendo:

$H_f1$ : Pérdidas totales en el tramo analizado; [m c.a]

$V_e$ : Volumen específico del vapor en función de la temperatura y presión; [m<sup>3</sup>/kg]

$F_i$ : Flujo másico del vapor; [kg/h]

### 15. Cálculo de la caída de presión total ( $\Delta P$ ):

$$\Delta P = \frac{H_f 1.10^{-4}}{V_e}$$

Siendo:

$\Delta P$ : Caída de presión total en el tramo de vapor analizado; [kg/cm<sup>2</sup>].

### CONCLUSIONES

- Los métodos de cálculos que normalmente se encuentran en las literaturas técnicas, referentes al tema, adolecen de una secuencia completa del cálculo; lo que obliga al especialista a una búsqueda y revisión, muchas veces tediosas, de criterios técnicos disgregados en diferentes bibliografías. Con esta metodología se agiliza el cálculo y evita los inconvenientes mencionados.
- Los parámetros de entrada del vapor para la realización del cálculo son de carácter clásico y se pueden encontrar en cualquier literatura técnica que contenga las tablas de vapor.

### RECOMENDACIONES

- Elaboración de un Software basado en la metodología presentada.
- Aplicación de esta metodología de cálculo en las Empresas de Proyectos e Ingeniería, principalmente las orientadas a la rama energética.

Desarrollo de ésta metodología en el campo de la selección del aislamiento térmico a emplear en tuberías de vapor.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Valdivia, Ibis M. Investigación cualitativa: diseños humanísticos. Las Villas; Universidad Central de Las Villas: Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas: Departamento de Psicología, 2001. (Material de estudio: Portador digital).
2. Hugot, E. Manual para Ingenieros Azucareros. 1. reimpr. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1980. 803 p.

3. Manuales técnicos y de instrucciones para conservación de energía: t. 3. Redes de distribución de fluidos térmicos. Madrid: Centro de Estudio de la Energía , 1983. 243 p.
4. Pavlov, K.F. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Moscú: Editorial Mir, 1981. 611 p.
5. Hooper, Willian B. Calculate head loss caused by change in pipe size. Reducing Wastewater Toxicity. **Chemical Engineer** (USA) 3:: 89-92, 1988.

#### **DATOS DE LOS AUTORES**

##### **Nombre:**

Ing. Luis Enrique Vega Peña\*

Ing. Luis Enrique Rodríguez González. Profesor Auxiliar \*\*

##### **Correo:**

[inelhol@hol.une.cu](mailto:inelhol@hol.une.cu)

[luise@facinf.uho.edu.cu](mailto:luise@facinf.uho.edu.cu)

##### **Centro de trabajo:**

\* INEL. Empresa de Ingeniería y Proyecto de la Electricidad. Calle Narciso López, Nro. 135, % Arias y Aguilera, Holguín, CP 80100.

\*\* Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Avenida XX Aniversario, Piedra Blanca, Holguín, CP 80100.